

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.3.169>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Impact of Application of Slurry Composting-Biofiltration (SCB) Liquid Fertilizer on Yield of Red Pepper and Nitrogen Leaching

Tae-Jun Lim*, Jin-Myeon Park¹, and Seok-Beom Kang²

Division for Korea Program on International Agriculture, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

¹Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Wanju 55365, Korea²Citrus Research Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Seogwipo 55365, Korea*Corresponding author: tajun06@korea.kr

ABSTRACT

Received: April 30, 2018

Revised: May 18, 2018

Accepted: August 31, 2018

The objective of this study was to assess application effects of slurry composting bio-filtration liquid fertilizer (SCB) on red pepper (*Capsicum annuum* L.) yield and nitrate leaching. A lysimeter experiment was conducted to evaluate the impact on the nitrate leaching and red pepper yield No N fertilizer, four application N rates of SCB (0, 103, 155, and 206 kg ha⁻¹) and a control treatment of chemical fertilizer (103 kg ha⁻¹). SCB were used as a basal fertilization and three top dressing doses of urea at the 35th, 60th, and 80th day after transplanting were applied. There was no significant different in red pepper yield among the SCB 100%, 150%, 200%, and CF 100%, though which was decreased in the No N fertilizer in 2008 and the No N fertilizer and the SCB 0% in 2009. The Increase of SCB liquid fertilizer application rates intensified the leached nitrate concentration and nitrate load. The leached N load in the SCB 100% was 193 kg ha⁻¹ in 2008 and 138 kg ha⁻¹ in 2009. However the leached N load in the SCB 150% and 200% were 236 and 274 kg ha⁻¹ in 2008 and 173 and 216 kg ha⁻¹ in 2009, respectively which were higher 43 and 80 kg ha⁻¹ in 2008 and 38 and 78 kg ha⁻¹ compared to that in the SCB 100%. Meanwhile, the SCB 100% did not increased the nitrate leaching compared with the CF 100% though the leached N load was higher in the SCB 100% in early season of red pepper cultivation. Therefore, the application of SCB rates equivalent to N recommendation for red pepper was evaluated to substitute a basal nitrogen fertilizer because there was no difference in nitrate leaching and red pepper compared with the chemical fertilizer.

Keywords: Lysimeter, N leaching, Red pepper, SCB liquid fertilizer

Fruit yield of red pepper by chemical N fertilizer and different SCB liquid fertilizer treatments in 2008 and 2009.

Treatment [†]	Fruit yield of red pepper		
	2008-yr	2009-yr	Average
	kg ha ⁻¹		
No N fertilizer	12,170b [†] (919) [‡]	7,400c (358)	9,785
SCB 0%	14,460ab (1,068)	12,010b (533)	13,235
SCB 100%	16,390a (1,215)	17,760a (624)	17,075
SCB 150%	17,250a (1,287)	18,880a (942)	18,065
SCB 200%	15,940a (1,264)	16,820a (737)	16,380
CF 100%	16,180a (1,324)	18,530a (764)	17,355

[†]Different letters indicate significant difference ($P < 0.05$) within each fruit yield.

[‡]Values in parentheses denote the standard error.



Introduction

식생활 수준의 향상으로 육류 등 축산물 소비량이 증가함에 따라 가축분뇨의 발생량도 지속적으로 증가하게 되면서, 이에 따른 처리가 문제시 되고 있다 (Kang et al., 2004; Kim et al., 2004). 국내의 가축분뇨의 발생량은 2005년 4,184만톤에서 2015년 6,314만톤으로 증가하였지만 가축분뇨의 해양 배출이 2012년부터 금지되면서 (Kang et al., 2011; Lim et al., 2009; www.me.go.kr.), 가축분뇨의 자원화에 대한 확대의 필요성이 높아지게 되었다 (Jeon et al., 2003). 이에 따라 가축분뇨의 자원화율은 2007년 83.7%에서 2015년 96.3%로 증가하였다 (Kang et al., 2011; www.me.go.kr.).

가축분뇨는 유기자원으로 작물 생산에 필수적인 다양한 영양성분을 함유하고 있어 양분의 공급과 지력의 유지 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있겠다 (Lim et al., 2013; Paschold et al., 2008). 하지만 가축분뇨의 처리현황에서 액비 이용률은 연간 발생량의 약 3%로 저조한데 이는 악취 등의 냄새에 주로 기인한다 (Lim et al., 2013; Park et al., 2010; www.me.go.kr.). SCB (Slurry Composting-Biofiltration) 액비는 돈분 슬러리가 퇴비단을 통과하면서 발효되고 여과된 액비로 냄새가 거의 없기 때문에 농경지로의 이용 확대가 가능하다 (Lim et al., 2009; Park et al., 2010).

이러한 액비의 장점과 이용률을 확대하고자 밭작물은 배추, 무, 옥수수에서 밀거름으로, 시설하우스에서는 오이, 토마토 등에서 관비로 공급하였을 때 SCB 액비의 사용에 따른 작물의 생육과 화학비료의 절감효과 등에 대한 연구들이 보고되어 왔다 (Kang et al., 2011; Lim et al., 2009; Lim et al., 2013; Park et al., 2010). 또한 액비의 연용에 따른 토양화학성의 변화나 논에서의 수질환경 부하 저감에 대한 연구들도 보고된 바 있다 (Seo et al., 2011; Kim et al., 2012). 하지만, SCB 액비의 사용에 따른 질소 등 양분의 용탈에 대한 연구는 보고되고 있지 않다.

액비는 액상물이므로 과다한 양을 투입할 때는 작물의 뿌리 근권 아래로 질소가 용탈되어 지하수의 오염을 야기시킬 수 있다 (Berenguer et al., 2008; Hountin et al., 1997; Sieling et al., 1998). 이러한 문제를 최소화하기 위해서는 액비를 밀거름으로 화학비료는 추비로 공급하는 혼합사용 방법이 필요하다 (Yagüe and Quílez, 2010). Yagüe and Quílez (2015)는 라이시미터를 활용하여 5년간 옥수수에서 혼합사용 하였을 때 환경에 부담되지 않는 액비의 적정 사용수준으로는 30 Mg ha^{-1} 로 보고하였다. 한편 적정량의 액비를 사용하는 경우 화학비료와 비교하여 질소의 용탈량에 차이가 없거나 오히려 적다는 보고도 있다 (Randall et al., 2000; Diez et al., 2001; Daudén and Quílez, 2004). 하지만 SCB 액비의 총 질소농도는 $0.6\text{-}1.0 \text{ g L}^{-1}$ 로 일반 액비의 $4.0\text{-}5.0 \text{ g L}^{-1}$ 와 비교하여 질소 함량이 낮으므로 밀거름으로 사용 시에 훨씬 더 많은 양의 액비가 투입되기 때문에 시기별 질소의 용탈량이나 총 용탈량에 있어 차이가 발생할 수 있다. 그러므로 SCB 액비에 대해서 작물의 최대수량을 만족하면서 질소의 용탈을 최소화 할 수 있는 밀거름 사용기준 설정이 필요하다.

고추는 2014년 36,120 ha로 전체 노지 채소작물 중 가장 많은 19.8%의 경작면적을 차지하고 있으며 (MAFRA, 2015), 김치를 만드는데 꼭 필요한 조미채소로서 식생활에 없어서는 안 되는 중요한 원예작물이다 (Lim et al., 2008). 따라서 본 연구는 라이시미터를 이용한 고추 재배에서 밀거름으로 SCB 액비를 다양한 수준으로 사용하였을 때 고추의 수량과 질소의 용탈에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

Materials and Methods

라이시미터를 이용한 질소-용탈 시험은 국립원예특작과학원 탐동 시험포장에서 2년간에 걸쳐서 2008년과 2009년에 수행하였다. 라이시미터의 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 1.0 m, 1.5 m, 1.0 m이며 원활한 배수를 위해 중앙과 양 측면에 배수구 6개와 중앙의 하단에는 자연배출구를 두었다. 중앙 하단의 자연배출구에는 100 L 용기통을 사용하여 강우에 따른 용탈수의 양을 측정하였다. 라이시미터 토양은 모래, 미사, 점토의 비율이 각각 68%, 21%, 11%인 사양토로 충진되었다. 고추 재배 전 토양의 안정화와 토양교란에 의한 영향을 최소화하기 위해서 2회에 걸쳐서 충분한 양의 물을 처리하였으며 1.0 Mg ha⁻¹의 벚짚퇴비를 2007년 11월 6일에 공급하였다. 고추 시험 전의 토양의 용적밀도는 1.19 Mg m⁻³이었으며, 토양 pH는 7.3, 유기물은 20 g/kg, 질산태 질소와 암모니아태 질소는 각각 13.4 mg kg⁻¹과 12.1 mg kg⁻¹이었다 (Table 1). SCB 액비의 총 질소와 암모니아태 질소는 2008년에 각각 0.73 g L⁻¹, 325 mg L⁻¹였고 2009년에는 0.60 g L⁻¹, 295 mg L⁻¹의 함량을 나타냈다 (Table 2).

Table 1. Physicochemical properties of soil lysimeter experiment.

pH	EC	OM	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Av. P ₂ O ₅	Ex.cations			Soil texture	Bulk density
						K	Ca	Mg		
1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹	-----	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----		Mg m ⁻³
7.3	0.43	20	13.4	12.1	637	0.63	7.7	2.6	SL [†]	1.19

[†]SL: sandy loam.

Table 2. Selected chemical characteristics of SCB liquid fertilizer applied in 2008 and 2009.

Year	T-N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	T-P	K
	g L ⁻¹ ----- mg L ⁻¹ -----				
2008	0.73	325	160	52	1,715
2009	0.60	295	135	56	1,775

시험은 질소 무시비구, 액비 시용구 5 수준 SCB 0%, SCB 100%, SCB 150%, SCB 200%, 그리고 대조구로 화학비료 100% 등 6처리를 두었다 (Table 3). 각 처리별로는 2개의 라이시미터에 총 12개의 시험구이었다. 고추의 질소, 인산, 칼리의 표준시비량 (100%)은 190-112-149 kg ha⁻¹이며, 밀거름 질소 시비량은 103 kg ha⁻¹이었다. SCB 액비는 밀거름으로만 공급하였으며, 총 질소 함량을 기준으로 액비 5 수준에 대한 처리별 사용량을 결정하였다 (Table 4). 인산과 칼리는 액비 중의 인산과 칼리 함량을 공제한 후 부족량에 대해서는 화학비료로 공급하였다. 화학비료는 질소는 요소, 인산은 용성인비, 칼리는 염화加里로 공급하였다. 질소 추비는 정식 후 35일, 60일, 80일 등 3회에 걸쳐서 분시하였다. 밀거름 사용량에 대한 액비와 화학비료는 고추 정식 20일 전에 토양에 처리하였다. 액비와 비료는 처리 1일 후에 경운 하였으며, 고추 정식 5일 전에 멀칭 비닐로 피복하였다.

Table 3. The amount of N applied as a basal fertilization before transplanting and a sidedressing fertilization after transplanting.

N treatment	Basal N		Sidedressing N	Total N fertilization
	SCB	Urea	Urea	
No N fertilizer	0	0	0	0
SCB 0%	0	0	87	87
SCB 100%	103	0	87	190
SCB 150%	155	0	87	242
SCB 200%	206	0	87	293
CF 100%	0	103	87	190

Table 4. Application rate by different SCB liquid fertilizer treatment in 2008 and 2009.

Treatment	SCB 0%	SCB 100%	SCB 150%	SCB 200%
	----- Mg ha ⁻¹ -----			
2008	0	141	212	282
2009	0	172	258	343

고추는 마니파 품종 (농우바이오)으로 2008년은 5월 9일에 2009년에는 5월 7일에 정식하였고 재배기간은 각각 150일과 153일이었다. 재식간격은 75 cm 이랑간격에 50 cm의 정식간격으로 시험구 당 4주의 고추를 정식하였다. 생육조사는 정식 후 35일과 85일 2회에 걸쳐서 실시하였으며, 열매는 8월부터 매 2주 간격으로 5-6회 걸쳐서 수확하였다. 식물체의 질소 흡수량은 시험구 당 평균 생육을 보이는 1주를 대상으로 하여 3차 수확 후에 분석하였다.

강우량 등 기상자료는 포장에서 약 2 km 떨어진 수도권기상청의 관측자료를 활용하였다 (<http://web.kma.go.kr>). 관수는 토양수분장력이 -30 kPa 이하로 내려가면 점적호스를 통해 수분이 공급될 수 있도록 하였다. 관수량은 2008년에 130 mm (5월 80mm, 9월 50 mm)이었고, 2009년에는 170 mm (4월 40mm, 6월 40mm, 8월 30mm, 9월 60mm)가 공급되었다.

라이시미터 용탈수는 질산염 분석을 통해서 용탈된 질소량을 계산하였으며 질산염 분석은 이온크로마토그래피 (Dionex 960)로 측정하였다. 용탈수는 액비 또는 화학비료의 처리 후부터 강우 시마다 용탈량을 확인하였으며, 매 10 일 간격으로 용탈수의 질소를 정량하였다. 라이시미터를 통한 질소의 양분수지는 아래와 같이 계산하였다.

$$N \text{ balance} = N \text{ input} (N_{\text{irrigation}} + N_{\text{fertilization}} + N_{\text{initial soil}}) - N \text{ output} (N_{\text{leaching}} + N_{\text{uptake}} + N_{\text{final soil}}) \quad (\text{Eq. 1})$$

토양의 물리성과 화학성은 농촌진흥청 표준분석법에 준하여 실시하였다 (NIAST, 2010). 용적밀도는 Core법, 입도분석은 비중계법으로 분석하였다. 화학성은 2 mm 체를 통과한 풍건 시료에 대해서 pH는 초자전극법, 인산은 Lancaster법, 유기물은 Tyurin법, 치환성양이온은 1 N CH₃COONH₄ 용액으로 침출하여 ICP-OES (MX2, GBC, Australia)로 측정하였다. 암모니아태 질소와 질산태 질소는 2 M KCl로 침출한 후 Kjeldahl법으로 분석하였다. SCB 액비와 식물체 시료와 습식분해하여 질소는 Kjeldahl법으로, 인산은 Vanadate법, 칼리는 원자흡광분광분석법으로 측정하였다 (NIAST, 2010). 통계분석은 SAS 프로그램 (Enterprise guide 4.2, USA)을 이용하였으며 Duncan의 다중 검정으로 처리간의 통계적인 유의성을 비교 검토하였다.

Results and Discussion

고추 생육 및 수량 고추 생육은 1차 질소 추비의 공급 전 정식 후 35일과 최대의 생육을 보이는 정식 후 85일에 조사하였다. 2008년에는 정식 후 35일과 85일 모두에서 질소 무시비구를 포함하여 고추의 초장과 초폭은 처리간에 차이가 없었다 (Table 5). 하지만 2년차인 정식 후 35일과 85일의 생육조사에서는 SCB 100%, 150%, 200% 및 화학비료 100% 처리와 질소 무시비구간에는 유의성 있는 차이를 나타냈다. 1년차에는 처리간에 생육 차이가 나타나지 않았는데, 이는 라이시미터 토양이 0-30 cm 깊이의 작토층으로 충진되었기 때문에 이미 토양에 존재하고 있던 질소 양분의 영향인 것으로 판단되었다. 한편 SCB 액비를 100% 이상 사용한 경우에는 화학비료 처리와 동일한 생육량을 나타내어 액비에 의한 비료 사용효과가 인정되었다 (Daudén and Quílez, 2004).

Table 5. Red pepper growth by different SCB liquid fertilizer and chemical N fertilizer treatments in 2008 and 2009.

Year	Treatment [†]	Plant height		Plant width	
		35 DAP [†]	85 DAP	35 DAP	85 DAP
		----- cm -----		----- cm -----	
2008	No N fertilizer	57.8a [‡]	80.5a	33.4a	78.3a
	SCB 0%	58.0a	83.8a	34.1a	80.9a
	SCB 100%	57.6a	83.1a	34.9a	81.0a
	SCB 150%	56.6a	82.8a	34.6a	81.4a
	SCB 200%	60.7a	83.4a	35.0a	81.8a
	CF 100%	60.6a	84.5a	35.2a	80.7a
2009	No N fertilizer	52.4b	74.4b	30.1b	72.6b
	SCB 0%	56.1ab	79.6ab	32.6ab	76.4ab
	SCB 100%	58.7a	84.5a	35.7a	81.8a
	SCB 150%	57.3a	86.7a	35.2a	83.1a
	SCB 200%	59.0a	83.3a	35.5a	82.2a
	CF 100%	56.8ab	84.1a	34.8a	81.9a

[†]DAP : Days after planting.

[‡]Values followed by the same letter, in the same column do not differ significantly ($P>0.05$).

고추의 수량은 1년차에는 질소 무시비구와 2년차에는 질소 무시비구 및 SCB 0%에서 유의성 있게 적었다 (Table 6). 2년간의 평균 수량에서 SCB 150%에서 18,065 kg ha⁻¹로 가장 많았지만 SCB 100%, 200%와는 차이가 없어, SCB 100%이상의 사용이 고추의 수량을 증가시키지는 못 하였다. 한편 SCB 100% 이상의 사용은 화학비료 100%와 2년간에 걸친 수량 비교에서 동일한 수량을 얻을 수 있는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 본 시험과 같은 처리간의 비교에서 고추 (Kang et al., 2004), 옥수수 (Yagüe and Quílez, 2010; Yagüe and Quílez, 2015), 배추 (Lim et al., 2009) 등에서도 동일한 수량을 얻을 수 있다는 결과와 일치하였다.

Table 6. Fruit yield of red pepper by chemical N fertilizer and different SCB liquid fertilizer treatments in 2008 and 2009.

Treatment [†]	Fruit yield of red pepper		
	2008-yr	2009-yr	Average
	----- kg ha ⁻¹ -----		
No N fertilizer	12,170b [†] (919) [‡]	7,400c (358)	9,785
SCB 0%	14,460ab (1,068)	12,010b (533)	13,235
SCB 100%	16,390a (1,215)	17,760a (624)	17,075
SCB 150%	17,250a (1,287)	18,880a (942)	18,065
SCB 200%	15,940a (1,264)	16,820a (737)	16,380
CF 100%	16,180a (1,324)	18,530a (764)	17,355

[†]Different letters indicate significant difference ($P < 0.05$) within each fruit yield.

[‡]Values in parentheses denote the standard error.

용탈수의 질산염 농도 및 질소 용탈량 액비 또는 화학비료를 처리한 후부터 고추 수확이 끝날 때까지 고추 재배 기간에의 강우 및 관개량을 나타내었다 (Fig. 1). 2008년에는 1,184 mm가 2009년에는 1,272 mm의 강수량을 보였는데, 특히 7월에만 2008년에 526 mm가 2009년에는 760 mm가 내려 전체 기간 중에서 강수량의 45%와 60%가 집중되었다. 라이시미터 용탈수의 양은 2008년과 비교하여 2009년에서 많았는데 이는 강수량이 많았고 또한 많은 양의 비가 짧은 기간에 집중호우로 내렸기 때문이다 (Fig. 2).

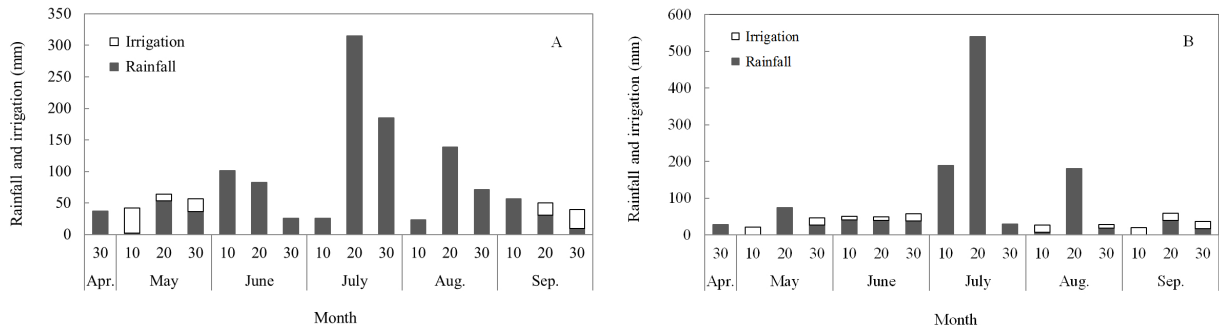


Fig. 1. Monthly summary of rainfall and irrigation data at intervals of 10 days after supplying of different SCB liquid fertilizer and chemical N fertilizer treatments in 2008 (A) and 2009 (B).

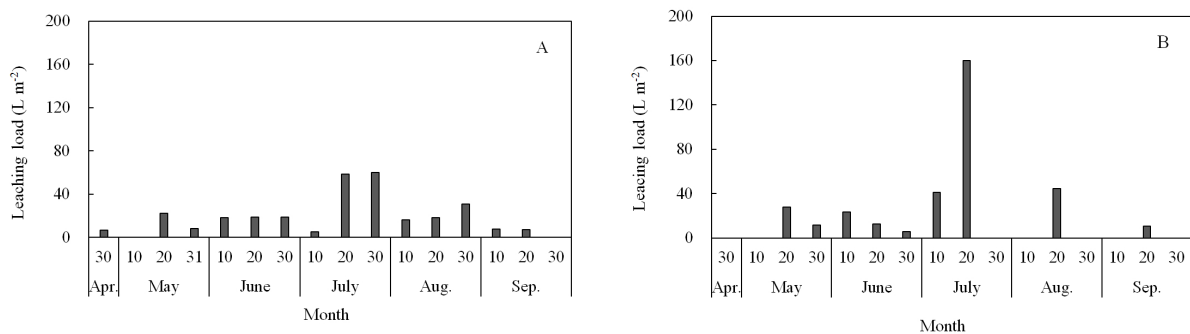


Fig. 2. Monthly summary of leaching load at intervals of 10 days after supplying of different SCB liquid fertilizer and chemical N fertilizer treatments in 2008 (A) and 2009 (B).

액비 및 화학비료에 의한 질소 투입량이 많을수록 용탈수의 질산태 질소 농도 및 질소 용탈량은 증가하였다 (Fig. 3, Fig. 4). 2008년 액비와 화학비료 처리 후 고추 정식 전까지 4월의 질산태 질소는 질소 무시비구에서 76 mg L^{-1} , 화학비료 100%에서 89 mg L^{-1} 인 반면에 액비를 처리한 SCB 100%, 150%, 200%에서는 각각 144, 149, 150 mg L^{-1} 를 나타냈다. 용탈수 중의 질산태 질소 농도로부터 질소 용탈량을 계산하면 질소 무시비구 4.6 kg ha^{-1} , 화학비료구가 5.2 kg ha^{-1} 이었지만 액비를 투입한 SCB 100%는 12.3 kg ha^{-1} 를, SCB 150%와 SCB 200%에서는 각각 23 kg ha^{-1} , 42 kg ha^{-1} 를 나타내어 액비의 투입량이 증가할수록 질소의 용탈량이 비례적으로 증가하였다. 이러한 이유는 토양 표층에 공급한 화학비료 처리와는 달리 액비는 액체이므로 라이시미터 토양 하층으로 많은 양의 질소가 이동하였기 때문에

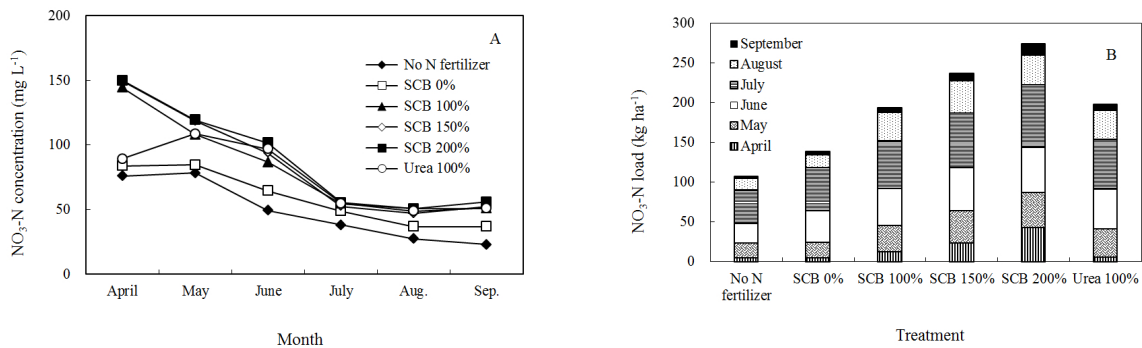


Fig. 3. The nitrate-N concentration (A) and nitrate N leached (B) due to leaching under different SCB liquid fertilizer and chemical N fertilizer treatments simulated by lysimeter in 2008.

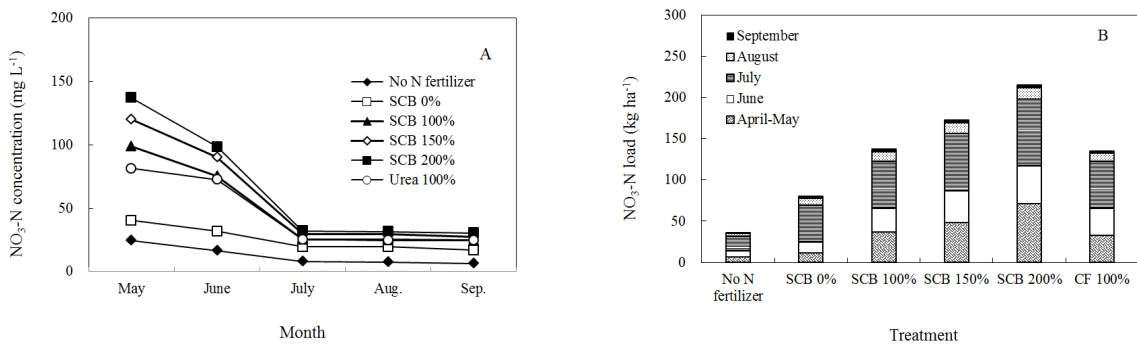


Fig. 4. The nitrate-N concentration (A) and nitrate N leached (B) due to leaching under different SCB liquid fertilizer and chemical N fertilizer treatments simulated by lysimeter in 2009.

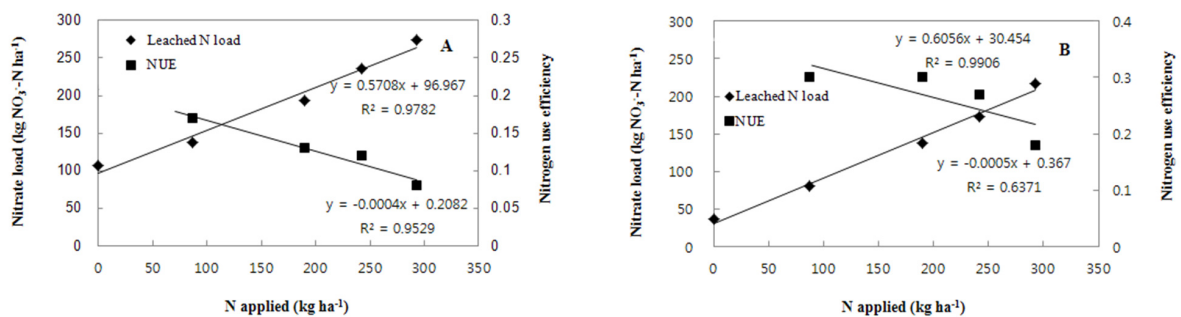


Fig. 5. Nitrate load and nitrogen use efficiency of red pepper grown under different SCB liquid fertilizer treatments in 2008 (A) and 2009 (B).

액비 처리에서 질소 용탈량이 많은 것으로 판단되었다. 용탈수의 질산태질소 농도는 5월달 화학비료 100%처리를 제외하고 모든 처리에서 재배일수의 경과에 따라서 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 용탈수의 질소 농도는 시비량 및 강우량과 연관되는데 정식 전에 액비와 화학비료가 총 양의 54%가 투입되었고 강우량도 많지 않아서 4월과 5월에는 용탈수 중의 질소 농도가 높은 것으로 사료되었다.

2년차에서도 질소 무시비구와 비교하여 화학비료 처리구와 액비의 시용량이 증가할수록 용탈수의 질소농도와 질소 용탈량은 증가하였다. 5월의 용탈수의 질산태 질소 농도는 질소 무시비구에서 24 mg L^{-1} 이었지만 화학비료 100%에서는 81 mg L^{-1} 로 높았으며 SCB 100%, SCB 150%, SCB 200%에서는 각각 99, 120, 137 mg L^{-1} 의 수치를 나타냈다. 5월의 질소 용탈량은 질소 무시비구에서 6.8 kg ha^{-1} 이었지만 화학비료 100%는 32 kg ha^{-1} 를 나타냈으며, SCB 100%, SCB 150%, 및 SCB 200%에서는 각각 36, 48, 71 kg ha^{-1} 로 액비의 시용량이 증가할수록 질소의 용탈량도 증가하였다. 그러므로 SCB 액비를 밀거름으로 과도하게 많은 양을 살포하는 경우 고추 재배 초기에 질소의 용탈량이 증가하므로 주의할 필요가 있다. 또한 SCB액비 중의 유기태 질소나 암모니아태 질소가 무기화되거나 질산화 과정이 빠르게 이루어져 질산태 질소로 바뀌어 용탈되었을 것으로 판단되었다 (Jensen et al., 2000; Martínez and Peu, 2000).

SCB 액비의 시용량이 증가할수록 고추 재배기간 동안 질소의 용탈량도 비례적으로 증가하였는데 2008년에 질소 무시비구의 질소 용탈량이 106 kg ha^{-1} 이었지만, SCB 0%, 100%, 150%, 200%에서는 각각 138, 193, 236, 274 kg ha^{-1} 로 높아졌다. 2009년에서도 질소 무시비구의 질소 용탈량이 36 kg ha^{-1} 인 반면, SCB 0%, 100%, 150%, 200%에서는 80, 138, 173, 216 kg ha^{-1} 로 각각 증가하여 액비 시용량과 밀접한 상관을 나타냈다. 액비 처리인 SCB 100%, SCB 150% 및 SCB 200% 간에는 고추 수량에의 차이가 없었지만, SCB 100%와 비교하여, SCB 150%와 SCB 200%에서의 질소 용탈량이 2008년에 각각 43 kg ha^{-1} 와 80 kg ha^{-1} 증가하였고, 2009년에는 38 kg ha^{-1} 와 78 kg ha^{-1} 의 질소가 추가적으로 용탈되었다. 한편 화학비료 100%와 액비 100%의 비교에서는 고추 재배 초기에는 액비 처리에서 질소의 용탈량이 많았으나 총량에서는 2008년과 2009년 모두 비슷한 값을 나타내어 SCB 100% 처리가 화학비료보다 질소의 용탈량을 증가시키지는 않는 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 질소의 용탈량에 있어 공급원보다는 질소의 투입량이 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 또한 Daudén and Quílez (2004)은 밀거름으로 적정량의 액비를 사용하고 추비로 화학비료를 공급하면 질소의 용탈량을 최소화할 수 있다고 보고하여 본 실험결과와 비슷한 결과를 나타냈다.

질소 이용효율 및 양분수지 액비의 시용량이 증가할수록 질소의 용탈량은 비례적으로 증가하였지만 질소이용효율 반대로 감소하는 경향을 나타냈다 (Fig. 5). 최대수량을 보인 SCB 100%, 150%, 200%에서의 질소이용효율은 2008년에 각각 0.13, 0.12, 0.08를 보였고 2009년에는 0.30, 0.26, 0.18의 값을 나타내어 SCB 100%에서 가장 높았다. 화학비료 100%처리에서의 질소이용효율은 2008년과 2009년에 각각 0.12와 0.32를 나타내어 SCB 100%와 거의 동일한 값을 나타냈다.

다양한 액비 및 화학비료 처리에 대한 질소양분수지는 Table 7과 같다. 고추 식물체의 질소 흡수량은 SCB 100%와 비교하여 SCB 150% 및 SCB 200%에서 수량과 마찬가지로 유의성 있는 흡수량의 증가는 없었다. 질소 양분수지는 음(-)의 값을 나타내었는데 이는 양분수지에 포함되지 않은 질소 무기화, 유거, 휘산, 탈질 등의 여러 요인들의 영향에 기인한 것으로 판단되었다 (Chantigny et al., 2007; Dambreville et al., 2008; Evan et al., 2011; Griggs et al., 2007;).

Table 7. N input, output, and balance under different SCB liquid fertilizer and chemical N fertilizer treatments in 2008 and 2009.

Year	Treatment	N input [†] (A)			N output [‡] (B)			N balance (A-B)
		N _{irr.}	N _{fert.}	N _{is}	N _{lea.}	N _{upt.}	N _{fs}	
----- kg ha ⁻¹ -----								
2008	No N fertilizer	8	0	273	106	93	91	-9
	SCB 0%	8	87	273	138	108	136	-14
	SCB 100%	8	190	273	193	118	175	-15
	SCB 150%	8	242	273	236	123	193	-29
	SCB 200%	8	293	273	274	117	215	-32
	CF 100%	8	190	273	197	116	178	-20
	LSD _{0.05}				21	18	44	11
2009	No N fertilizer	9	0	91	36	68	15	-13
	SCB 0%	9	87	136	80	94	77	-19
	SCB 100%	9	190	175	138	125	129	-18
	SCB 150%	9	242	193	173	132	161	-22
	SCB 200%	9	293	215	216	122	204	-25
	CF 100%	9	190	178	135	129	130	-17
	LSD _{0.05}				19	11	32	6

[†] SCB: slurry composting biofiltrate; CF: chemical N fertilizer.

[†] N input comprised of the sum of N_{irr.}, N_{fert.}, and N_{is}: N_{irr.}, Nitroen added by irrigation; N_{fert.}, nitrogen applied as fertilizer; N_{is}, inorganic N of initial soil.

[‡] N output comprised of the sum of N_{lea.}, N_{upt.}, and N_{fs}: N_{lea.}, mass of nitrate in drainage; N_{upt.}, nitrogen uptake by red pepper; N_{fs}, inorganic N of final soil.

Conclusions

고추 재배에서 밑거름으로 SCB 액비를 다양한 수준으로 사용하였을 때 고추의 수량과 질소의 용탈에 미치는 영향을 평가하고자 라이시미터로 2년간에 걸쳐서 수행하였다. 고추의 수량은 1년차에는 질소 무시비구와 2년차에는 질소 무시비구 및 SCB 0%에서 유의성 있게 적었다. 2년간의 평균 수량에서 SCB 150%에서 18,065 kg ha⁻¹로 가장 많았지만 SCB 100%, 200%, 화학비료 100%와는 차이가 없이 최대 수량을 나타냈다. 액비의 사용량 증가는 용탈수의 질산태 질소 농도 및 질소 용탈량을 증가시켰다. 2008년 질소 무시비구의 질소 용탈량은 106 kg ha⁻¹이었지만, SCB 100%, 150%, 200%에서는 각각 193, 236, 274 kg ha⁻¹로 높아졌으며, 2년차의 질소 무시비구에서는 36 kg ha⁻¹이었으나, SCB 100%, 150%, 200%에서는 138, 173, 216 kg ha⁻¹로 증가하였다. 이러한 결과는 SCB 150%와 200%는 SCB 100%와 비교하여 수량의 증가없이 질소 용탈량이 1년차에 각각 43, 80 kg ha⁻¹가, 2009년에는 38, 78 kg ha⁻¹가 추가로 용탈되었다. 한편 화학비료 100%와 비교하여 고추 재배 초기에는 액비 100%에서 질소의 용탈량이 많았으나 총량에서는 2008년과 2009년 모두 비슷한 값을 나타내어 SCB 액비가 질소의 용탈량을 증가시키지는 않는 결과를 나타냈다. 액비의 사용량이 증가할수록 질소이용효율을 낮았으며 최대 수량을 얻을 수 있는 처리에서는 SCB 100%가 가장 높았다. 따라서 질소 표준시비량에 해당하는 양의 SCB 액비 사용이 고추의 수량과 질소의 용탈량에서 화학비료와 차이가 없어 밑거름에 대한 화학비료 대체가 가능할 것으로 판단되었다.

References

- Berenguer, P., F. Santiveri, J. Boixadera, and J. Lloveras. 2008. Fertilization of irrigated maize with pig slurry combined with mineral nitrogen. *Europ. J. Agronomy*. 28:635-645.
- Chantigny, M.H., D.A. Angers, P. Rochette, G. Belanger, D. Massé, and D. Côté. 2007. Gaseous nitrogen emissions and forage nitrogen uptake on soils fertilized with raw and treated swine manure. *J. Environ. Qual.* 36:1864-1872.
- Dambreville, C., T. Morvan, and J.C. Germon. 2008. N₂O emission in maize-crops fertilized with pig slurry, matured pig manure, or ammonium nitrate in Brittany. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123:201-210.
- Daudén, A. and D. Quílez. 2004. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. *Europ. J. Agronomy*. 21:7-19.
- Diez, J.A., A.I. de la Torre, M.C. Cartagena, M. Carballo, A. Vallejo, and M.J. Munoz. 2001. Evaluation of the application of pig slurry to an experimental crop using agronomic and ecotoxicological approaches. *J. Environ. Qual.* 30, 2165-2172.
- Evans, D.M., S.H. Schoenholtz, P.J. Wigington Jr, and S.M. Griffith. 2011. Nitrogen mineralization in riparian soil along a river continuum within a multi-land-use basin. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75, 719-728.
- Griggs, B.R., R.J. Norman, C.E. Wilson Jr, and N.A. Slaton. 2007. Ammonia volatilization and nitrogen uptake for conventional and conservation tilled dry-seeded, delayed-flood rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 745-751.
- Hountin, J.A., D. Couillard, and A. Karam. 1997. Soil carbon, nitrogen and phosphorus contents in maize plots after 14 years of pig slurry applications. *J. Agric. Sci.* 129, 187-191.
- [Http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/list.do?menuId=10259&condition.deptCd=&condition.deptNm=&searchKey=title&searchValue=%EA%B0%80%EC%B6%95%EB%B6%84%EB%87%A8&condition.fromInpYmd=&condition.toInpYmd=&order=&x=20&y=5](http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/list.do?menuId=10259&condition.deptCd=&condition.deptNm=&searchKey=title&searchValue=%EA%B0%80%EC%B6%95%EB%B6%84%EB%87%A8&condition.fromInpYmd=&condition.toInpYmd=&order=&x=20&y=5)
- Jeon, W.T., H.M. Park, C.Y. Park, K.D. Park, Y.S. Cho, E.S. Yun, and U.G. Kang. 2003. Effects of liquid pig manure application on rice growth and environment of paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36, 333-343.
- Kang, B.G., H.J. Kim, G.J. Lee, and S.G. Park. 2004. Determination of the optimum application rate of pig slurry for red pepper cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37, 388-395.
- Kang, S.S., M.K. Kim, S.I. Kwon, M.S. Kim, S.W. Yoon, S.G. Ha, and Y.H. Kim. 2011. The effect of application levels of slurry composting and Bio-filtration liquid fertilizer on soil chemical properties and growth of Radish and Corn. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44, 1306-1313.
- Kim, J.G., K.B. Lee, D.B. Lee, S.B. Lee, and S.Y. Na. 2004. Influence of liquid pig manure on rice growth and nutrient movement in paddy soil under different drainage conditions. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37, 97-103.
- Kim, M.K. S.I. Kwon, S.S. Kang, G.B. Jung, S.C. Hong, M.J. Chae, and K.H. So. 2012. Minimizing nutrient loading from SCB treated paddy rice fields through water management. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45, 671-675.
- Lim, T.J., I.B. Lee, S.B. Kang, J.M. Park, and S.D. Hong. 2009. Effects of continual pre-plant application of pig slurry on soil mineral nutrients and yield of Chinese cabbage. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 28, 227-232.
- Lim, T.J., J.M. Park, J.S. Noh, S.E. Lee, and K.I. Kim. 2013. Effect of slurry composting bio-filtration (SCB) by subsurface drip fertigation on cucumber (*Cucumis sativas* L.) yield and soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46, 253-258.
- MAFRA. 2015. Statistics on production of greenhouse vegetable and greenhouse facilities for vegetable. p. 12. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- Martínez, J. and P. Peú. 2000. Nutrient fluxes from a soil treatment process for pig slurry. *Soil Use Manage.* 16, 100-107.
- NIAST. 2010. Method of soil and plant analysis. p 61-124. National Institute of Agricultural Science and Technology. Rural Development Administration. Suwon, Korea.

- Park, J.M., T.J. Lim, S.B. Kang, I.B. Lee, and Y.I. Kang. 2010. Effect of pig slurry fertigation on soil chemical properties and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Korean J. Soil Sci. Fert. 43, 610-615.
- Paschold, J.S., B.J. Wienhold, D.L. McCallister, and R.B. Ferguson, 2008. Crop nitrogen and phosphorus utilization following application of slurry from swine fed traditional or low phytate corn diets. Agron. J. 100, 997-1004.
- Randall, G.W., T.K. Iragavarapu, and M.A. Schmitt. 2000. Nutrient losses in subsurface drainage water from dairy manure and urea applied to corn. J. Environ. Qual. 29, 1244-1252.
- Rural Development Administration (RDA). 2007. Management and treatment of livestock manure. p. 9-21. In Research accomplishment about recycling technology of livestock manure, Korea.
- SAS Institute. 1999. SAS enterprise guide 4.3. Version 9.2. SAS Institute Inc. Cary. NC.
- Seo, Y.H., M.S. Ahn, A.S. Kang, and Y.S. Jung. 2011. Influence of continuous application of low-concentration swine slurry on soil properties and yield of tomato and cucumber in a greenhouse. Korean J. Soil Sci. Fert. 44, 773-778.
- Sieling, K., H. Schroder, M. Finck, and H. Hanus. 1998. Yield, N uptake, and apparent N-use efficiency of winter wheat and winter barley grown in different cropping systems. J. Agr. Sci. 131, 375-387.
- Yagüe, M.R. and D. Quílez. 2010. Response of maize yield, nitrate leaching, and soil nitrogen to pig slurry combined with mineral nitrogen. J. Environ. Qual. 39, 686-696.
- Yagüe, M.R. and D. Quílez. 2015. Pig slurry residual effects on maize yields and nitrate leaching: A study in lysimeters. Agron. J. 107, 278-286.